

объектов, предъявляющих повышенные требования к надежности поставки электроэнергии и экологии.

Библиографический список

1. Астахов Ю.Н., Веников В.А., Тер-Газарян А.Г. Накопители энергии в электрических системах: учеб. пособие для электроэнергет. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1989. 159 с.
2. Белоусов В.С., Ясников Г.П., Морилов А.А. Эксергетические методы анализа термодинамических процессов: Методические указания по дисциплине «Техническая термодинамика». Свердловск: изд. УПИ им. С.М. Кирова, 1985. 27 с.

ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДУХА И РАБОЧЕГО ТЕЛА ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

*Канчурина В.Ф., Жаркова Ю.Р., Бушуев А.Н.
Орский гуманитарно-технологический институт (филиал)
Оренбургского государственного университета, г. Орск
viktoria_949494@mail.ru*

Газотурбинная установка представляет собой двигатель, в котором сгорание топлива происходит непосредственно в рабочем теле цикла, осуществляемого в потоке газа.

В газовую турбину поступают продукты сгорания природного газа под давлением порядка 10-20 атмосфер и при температурах свыше 1000 °С. Коэффициент избытка воздуха в камере сгорания турбины определяется, прежде всего, максимально допустимой температурой рабочего газа перед турбиной и его значение лежит в пределах при 3,0-4,5.

При термодинамическом рассмотрении цикла газотурбинной установки в большинстве расчетов не учитывается изменение массы рабочего тела при сгорании топлива, а также не принимается во внимание происходящее при этом изменение химического состава газа, и все расчеты проводятся по отношению к 1 кг чистого воздуха.

Однако в точных тепловых расчетах данного агрегата с точки зрения авторов недопустимо пренебрегать изменением химического состава рабочего тела и, таким образом, изменением зависимости параметров рабочего тела по сравнению с воздухом.

Наиболее важным параметром рабочего тела при расчете любого энергетического агрегата, в том числе и газотурбинной установки, является, несомненно, энтальпия и коэффициент адиабата.

Произведем сравнение зависимостей данных энтальпии и адиабаты рабочего тела, представляющего собой продукты сгорания природного газа с показателями атмосферного воздуха.

Для термодинамического расчета примем следующий химический состав природного газа в массовых долях:

$$\begin{array}{ll} \text{CH} = 94,2 \% & \text{C}_4\text{H}_{10} = 0,2 \% \\ \text{C}_2\text{H}_6 = 2,5 \% & \text{C}_5\text{H}_{12} = 0,1 \% \\ \text{C}_3\text{H}_8 = 0,4 \% & \text{N}_2 = 2,6 \%. \end{array}$$

Аппроксимируя табличные данные [1,2] зависимости энтальпии воздуха, получаем следующую степенную функцию:

$$I_{\text{в}}(t) = -8,5136 \cdot 10^{-3} + 1,0074 \cdot t - 1,1585 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 2,4207 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - \\ - 1,9874 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 2,45101 \cdot 10^{-14} \cdot t^5 + 5,6408 \cdot 10^{-17} \cdot t^6.$$

При выбранном составе природного газа может быть рассчитан массовый состав продуктов сгорания при любом коэффициенте избытка воздуха α . Большинство турбин работают на избытке $\alpha = 3,0$, тогда массовый состав будет иметь следующие значения:

$$N_{2\text{газ}} = 74,07 \%;$$

$$O_{2\text{газ}} = 15,11 \%;$$

$$H_2O_{\text{газ}} = 4,23 \%;$$

$$CO_{2\text{газ}} = 5,32 \%;$$

$$Ar_{\text{газ}} = 1,26 \%.$$

Аналогично воздуху могут быть получены зависимости массовых энтальпий основных составляющих компонентов продуктов сгорания природного газа:

$$IN_2(t) = -4,6438 \cdot 10^{-2} + 1,0459 \cdot t - 5,6467 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 3,1553 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 - \\ - 2,9363 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 1,3767 \cdot 10^{-13} \cdot t^5 - 3,3444 \cdot 10^{-17} \cdot t^6 + 3,3418 \cdot 10^{-21} \cdot t^7;$$

$$IO_2(t) = 0,1607 + 0,9060 \cdot t + 1,3980 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 6,0220 \cdot 10^{-8} \cdot t^3 - \\ - 1,1863 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 + 5,8144 \cdot 10^{-14} \cdot t^5 - 3,6175 \cdot 10^{-18} \cdot t^6;$$

$$ICO_2(t) = -4,9287 \cdot 10^{-4} + 0,8166 \cdot t + 5,6954 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 5,2889 \cdot 10^{-7} \cdot t^3 + \\ + 6,0928 \cdot 10^{-10} \cdot t^4 - 6,6318 \cdot 10^{-13} \cdot t^5 + 4,9096 \cdot 10^{-16} \cdot t^6.$$

Функциональная зависимость массовой энтальпии газовой смеси продуктов сгорания имеет вид:

$$I_{\text{газ}}(t) = N_{2\text{газ}} \cdot IN_2(t) + O_{2\text{газ}} \cdot IO_2(t) + CO_{2\text{газ}} \cdot ICO_2(t) + \\ + H_2O_{\text{газ}} \cdot IH_2O(t) + Ar_{\text{газ}} \cdot IAr(t).$$

Характер изменения соотношения энтальпий продуктов сгорания и воздуха в зависимости от температуры может быть показан функцией $f(t) = I_{\text{газ}}(t)/I_{\text{в}}(t)$. График функции показан на рис. 1.

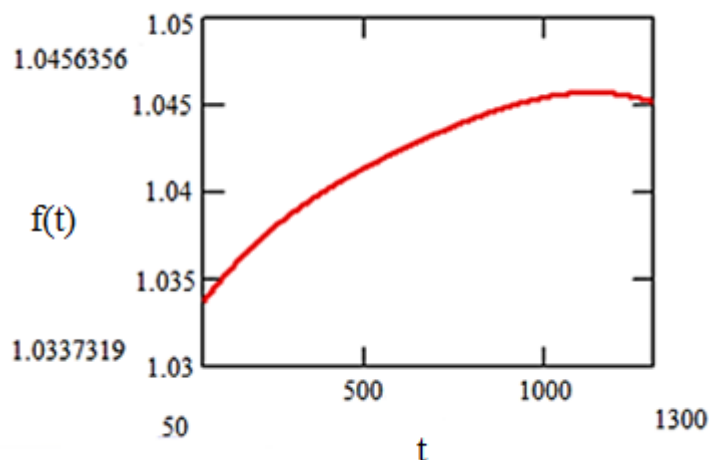


Рис. 1. График соотношения энтальпий продуктов сгорания и воздуха

Из графика видно, что в зоне рабочих температур газовых турбин (900-1300 °С) соотношение энтальпий превышает 1,045, т.е. энтальпия рабочего тела, используемого в газовых турбинах

выше воздуха на 4,5 %. Что говорит о невозможности пренебрежения химическим составом рабочего тела при точных термодинамических расчетах ГТУ.

Температурная зависимость, изобарной теплоемкости газовой смеси определяется выражением:

$$C_p(t) = C_{pO_2}(t) \cdot m_{O_2} + C_{pN_2}(t) \cdot m_{N_2} + C_{pAr}(t) \cdot m_{Ar} + \\ + C_{pCO_2}(t) \cdot m_{CO_2} + C_{pCO}(t) \cdot m_{CO}.$$

Аналогично зависимость изохорной теплоемкости:

$$C_v(t) = C_{vO_2}(t) \cdot m_{O_2} + C_{vN_2}(t) \cdot m_{N_2} + C_{vAr}(t) \cdot m_{Ar} + \\ + C_{vCO_2}(t) \cdot m_{CO_2} + C_{vCO}(t) \cdot m_{CO}.$$

Функциональная зависимость адиабаты газовой смеси может быть представлена:

$$k(t) = C_p(t) / C_v(t).$$

По [1, 2] функциональная зависимость воздуха может быть представлена степенной функцией вида:

$$k_B(t) = 1,4007 - 8,6632 \cdot 10^{-6} \cdot t - 3,4043 \cdot 10^{-7} \cdot t^2 + 4,8372 \cdot 10^{-10} \cdot t^3 - 2,6669 \cdot 10^{-13} \cdot t^4.$$

График функции $\delta(t)$, представляющий собой отношение зависимости адиабаты продуктов сгорания к зависимости адиабаты воздуха показан на рис. 2.

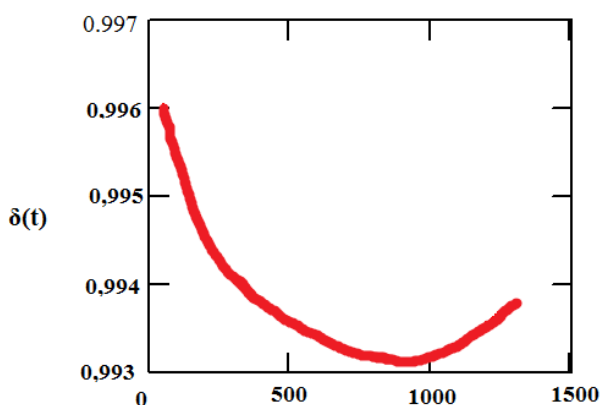


Рис. 2. График соотношения адиабаты продуктов сгорания природного газа к адиабате чистого воздуха

Полученный график четко показывает практическое равенство адиабат продуктов сгорания и воздуха в широком диапазоне температур, поскольку разность не превышает 0,7 %.

В качестве заключения следует отметить тот факт, что немалое расхождение в значениях энтальпий рабочего тела и воздуха даже в оценочных расчетах неизбежно приводит к ошибочной оценке эффективных показателей газотурбинной установки. Данное пренебрежение приведет к неверной временной зависимости расходов топлива и воздуха, подаваемых в камеру сгорания турбины, что также и отразится на несколько повышенной подаче воздуха, следовательно, и приведет к перерасходу электроэнергии на собственные нужды установки.

Библиографический список

1. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1963. 708 с.
2. Термодинамические свойства воздуха. / Сычев В.В., Вассерман А.А., Козлов А.Д., Спиридонов Г.А., Цымарный В.А. ГСССД. Сер. монографии. М.: Изд-во стандартов, 1978. 276 с.